

MODELADO DEL CANAL MIMO INTERIOR MEDIANTE TRAZADO DE RAYOS

Susana Loredo⁽¹⁾, Alberto Rodríguez Alonso⁽¹⁾, Rafael P. Torres⁽²⁾

sloredo@tsc.uniovi.es, alrodal@gmail.com, torresrp@unican.es

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oviedo. Campus de Viesques, 33203 Gijón.

⁽²⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Avda. de Los Castros s/n. 39005 Santander.

Abstract- This communication presents a MIMO (Multiple Input Multiple Output) channel model based on ray-tracing techniques, which uses a full 3D implementation of Geometric Optics and Uniform Theory of Diffraction. Results obtained from measurements and simulation of capacity of a 2x2 system in specific indoor environments at the frequency of 2 GHz are presented. The rigorous and quantitative comparison between measurements and simulations shows that the model accuracy is sufficient for the analysis and design of different aspects of the full MIMO system.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas MIMO ofrecen la posibilidad de mejorar la capacidad (bit/s/Hz) y/o las prestaciones (BER) de los sistemas inalámbricos en entornos ricos en elementos dispersores y, por tanto, con un multicamino acusado. Dichos sistemas operan explotando las propiedades espaciales del multicamino, ofreciendo por tanto una nueva dimensión que puede ser utilizada para mejorar el comportamiento de las comunicaciones vía radio. Además, este aumento de las prestaciones se puede conseguir sin aumentar el ancho de banda, un recurso siempre escaso a la hora de planificar nuevos sistemas y servicios.

Aunque la codificación y el procesado de señal son elementos claves en la implementación con éxito de un sistema MIMO, los aspectos que más impacto tienen en el comportamiento final del sistema son el canal de propagación y el diseño de las antenas. Por ello, en los últimos años se han realizado numerosos esfuerzos en el modelado de canales MIMO, tanto desde el punto de vista teórico como experimental.

En esta comunicación se mostrarán los resultados obtenidos para la capacidad de un sistema MIMO 2x2 en entornos de interiores específicos a la frecuencia de 2 GHz. Se compararán los valores de capacidad obtenidos a partir de medidas del canal MIMO con los proporcionados por un modelo de trazado de rayos basado en GO/UTD.

II. CAPACIDAD EN LOS SISTEMAS MIMO

En un sistema MIMO que conste de M antenas transmisoras y N antenas receptoras, cada uno de los subcanales que relacionan las antenas transmisoras y receptoras queda representado por h_{nm} , donde n y m indican cuál es la antena receptora y transmisora respectivamente. En el caso de canales no selectivos en frecuencia,

$$h_{nm} = \sum_{k=1}^L a_k e^{j\theta_k} \quad (1)$$

Los distintos subcanales h_{nm} configuran la matriz de transferencia \mathbf{H} del sistema MIMO, de dimensiones $N \times M$.

Conocida la matriz de transferencia del canal, se puede calcular la capacidad teórica del sistema MIMO mediante la siguiente expresión,

$$C = \log_2 \left[\det \left[\mathbf{I} + \frac{P}{M\sigma^2} \mathbf{H}\mathbf{H}^H \right] \right] \quad (2)$$

donde \mathbf{I} es la matriz identidad, P es la potencia total transmitida, σ^2 es la potencia de ruido en el receptor, y \mathbf{H}^H es la matriz hermítica (compleja conjugada) de la matriz \mathbf{H} . Se supone ruido incorrelado, de igual potencia en todos los receptores, y con una distribución Gaussiana compleja de media cero.

Esta expresión, donde aparece de forma explícita la dependencia de la capacidad con la matriz de canal \mathbf{H} , permite concluir que la capacidad de un canal MIMO, cuya matriz \mathbf{H} está formada por elementos aleatorios, será también una magnitud aleatoria que tomará distintos valores para diferentes realizaciones de \mathbf{H} . De este modo, la capacidad suele venir dada por curvas de probabilidad acumulada que permiten comparar diversos entornos o situaciones del canal. A partir de estas curvas se pueden definir parámetros de diseño, como por ejemplo la capacidad de indisponibilidad al $x\%$, definida como la capacidad que está garantizada en el $(100-x)\%$ de las realizaciones.

III. ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN Y MODELO DE CANAL

El análisis de capacidad se ha llevado a cabo en dos escenarios típicos de interiores diferentes: un área abierta y un escenario de oficinas, que se corresponden con los escenarios descritos en [1]. Para cada una de las ubicaciones del receptor se han realizado medidas con el array receptor paralelo y perpendicularmente orientado respecto al array transmisor. El área entorno al punto central donde se cortan los arrays receptores paralelo y perpendicular configura un área local de 2×2 m², en la cual el canal se considera estacionario en sentido amplio.

Las distintas áreas locales de recepción medidas pueden clasificarse en situaciones LOS (con línea de visión directa al transmisor) y situaciones NLOS (sin línea de visión directa). Las medidas se realizaron en banda estrecha a la frecuencia de 2 GHz.

El modelo utilizado para simular el canal MIMO es un modelo específico del entorno basado en técnicas de trazado de rayos, con una implementación tridimensional de la Óptica Geométrica y la Teoría Uniforme de la Difracción. Dicho modelo es una extensión a canales MIMO del modelo presentado en [2] y ya validado para canales SISO [3]. Las medidas presentadas en [1] constituyen la base sobre la que se evaluará la viabilidad de esta herramienta de trazado de rayos para analizar el canal MIMO interior.

IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para la capacidad del sistema MIMO 2x2 se han clasificado en función del tipo de escenario (abierto o de oficinas), las condiciones de propagación (LOS o NLOS) y la orientación relativa de los arrays transmisor y receptor (paralelos o perpendiculares). Se ha analizado también el efecto sobre la capacidad de la separación entre elementos del array receptor. A continuación se muestran y se comentan algunos de estos resultados.

Las Figuras 1 a 4 muestran, a modo de ejemplo, las curvas de probabilidad acumulada de la capacidad medida y simulada en el escenario abierto para un sistema 2x2 cuando la separación entre elementos receptores (Δr) es de una longitud de onda, considerando en recepción una relación señal a ruido de 20 dB. En todas las figuras se incluye como referencia la capacidad asociada a un sistema 2x2 supuestos subcanales Rayleigh incorrelados. En las situaciones LOS se puede observar una pérdida significativa de capacidad respecto a la situación ideal de canales Rayleigh incorrelados, especialmente cuando los arrays están perpendicularmente orientados. En ese caso, el valor mediano de la capacidad está 1.5 bit/s/Hz por debajo del correspondiente a la capacidad Rayleigh, y para la capacidad de indisponibilidad al 10% esa diferencia es de aproximadamente 0.6 bit/s/Hz. Esas diferencias son menores para el caso de arrays paralelos: sólo 0.1 bit/s/Hz para la capacidad de indisponibilidad al 10% y aproximadamente 1 bit/s/Hz para el valor mediano de capacidad. Para las situaciones NLOS las curvas experimentales están más próximas a la de referencia, indicando un menor grado de correlación entre los diferentes subcanales. En ambos casos puede apreciarse un alto grado de concordancia entre las capacidades medidas y simuladas.

En la Figura 5 se muestra la dependencia de la capacidad de indisponibilidad al 10% con la separación entre elementos del array receptor en este mismo escenario, para situaciones LOS y arrays paralelamente orientados. La misma información se muestra en la Figura 6 para el escenario de oficinas. Como tendencia general de las distintas situaciones analizadas, cabe comentar que la capacidad de indisponibilidad, en general, aumenta al aumentar la separación entre elementos receptores, hasta que dicha separación es aproximadamente una longitud de onda. Para separaciones mayores el aumento de capacidad es mucho más

lento o incluso nulo. Además, se ha observado que en ambos escenarios los valores de capacidad son ligeramente mayores en situaciones NLOS.

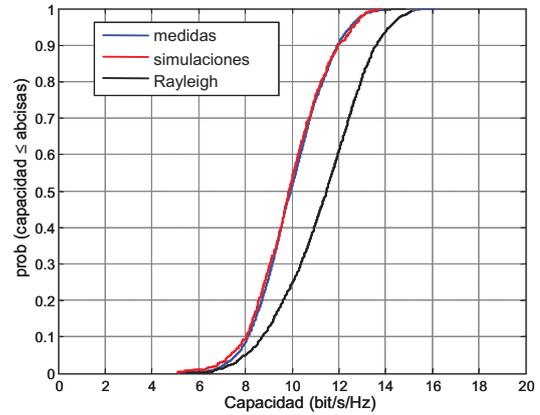


Fig. 1. Capacidad en escenario abierto (LOS, arrays perpendiculares, $\Delta r = \lambda$, SNR=20 dB).

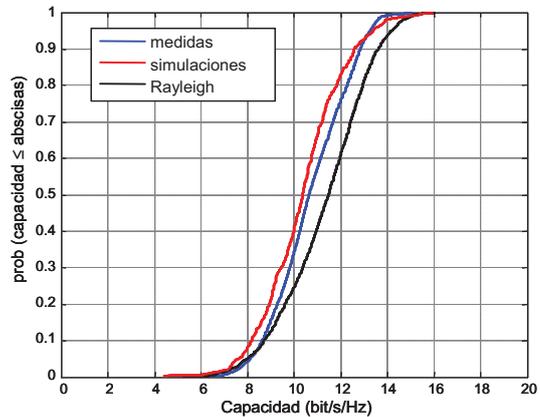


Fig. 2. Capacidad en escenario abierto (LOS, arrays paralelos, $\Delta r = \lambda$, SNR=20 dB).

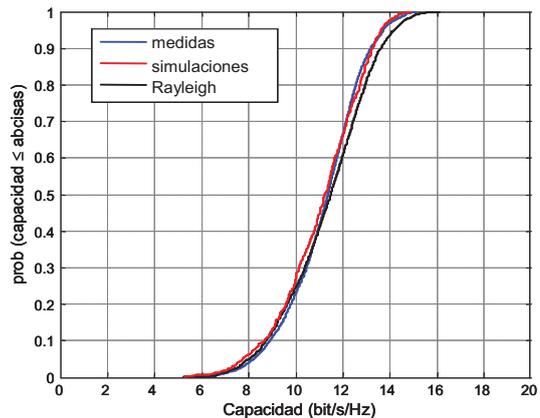


Fig. 3. Capacidad en escenario abierto (NLOS, arrays perpendiculares, $\Delta r = \lambda$, SNR=20dB).

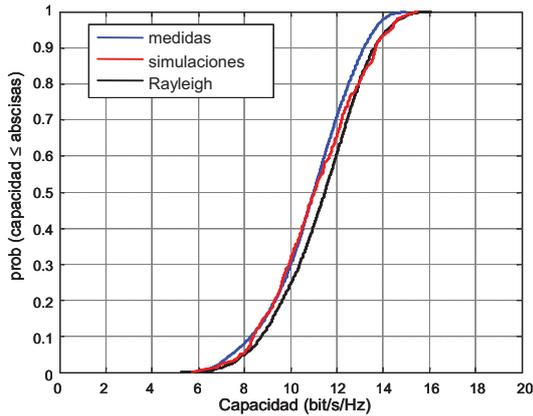


Fig. 4. Capacidad en escenario abierto (NLOS, arrays paralelos, $\Delta r = \lambda$, SNR=20dB).

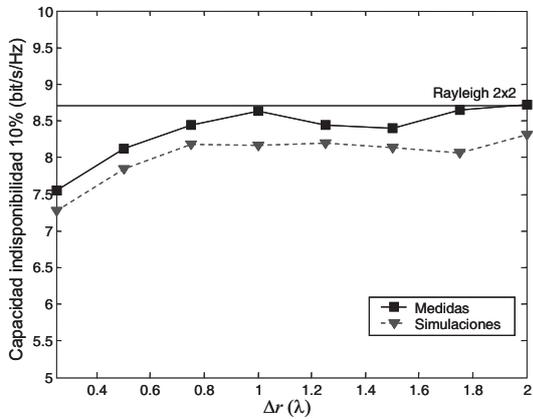


Fig. 5. Capacidad de indisponibilidad en escenario abierto (LOS, arrays paralelos).

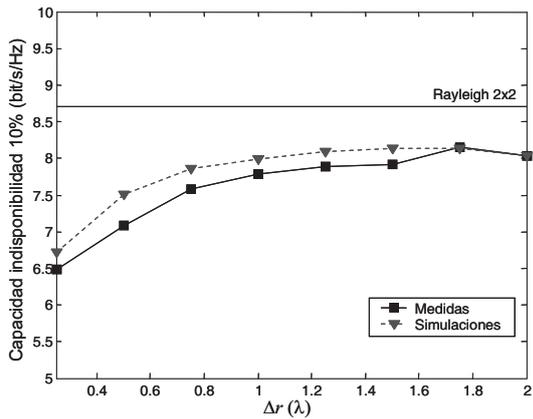


Fig. 6. Capacidad de indisponibilidad en escenario de oficinas (LOS, arrays paralelos).

V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo de trazado de rayos 3D GO-UTD es una herramienta válida para obtener matrices de canal con propiedades de correlación realistas, lo cual se refleja en la precisión con que se estiman las curvas de probabilidad. La posibilidad de simular de forma precisa la capacidad de

indisponibilidad en diferentes escenarios, para diferentes separaciones entre elementos receptores y para distintas orientaciones relativas entre los arrays transmisor y receptor resulta de gran interés práctico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia mediante el proyecto del Plan Nacional de referencia TEC2005-07477-c02-01

REFERENCIAS

- [1] O. Fernández, M. Domingo, R.P. Torres, "Empirical Analysis of the Correlation of MIMO Channels in Indoor Scenarios at 2 GHz", *IEEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*, Vol. 152, No. 1, pp. 82-88, February 2005.
- [2] R.P. Torres, L. Valle, M. Domingo, S. Loredó, M.C. Díez, "CINDOOR: An Engineering Tool for Planning and Design of Wireless Systems in Enclosed Spaces", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 41, No. 1, pp. 11-22, August 2001.
- [3] S. Loredó, L. Valle, R.P. Torres, "Accuracy Analysis of GO/UTD Radio-Channel Modeling in Indoor Scenarios at 1.8 and 2.5 GHz", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 43, No. 5, pp. 37-51, October 2001.